Ontstoren

Er komen steeds meer apparaten op de markt die stoorsignalen op de netspanning kunnen zetten. Anderzijds zijn er steeds meer schakelingen die extreem gevoelig zijn voor stoorsignalen. Goed ontstoren van uw schakelingen en apparaten is dus nu meer dan ooit noodzakelijk. Lees dit achtergrondverhaal met voorbeeldschakelingen en u kunt ermee aan de slag!

Auteur: Jos Verstraten, Landgraaf, Nederland
Email: josverstraten@live.nl

Publicatiedatum: 01-10-2017

Over storingen en hun oorzaken

Storende schakelingen en apparaten

In uw huis bevinden zich tegenwoordig een heleboel elektronische apparaten, die flink wat storing veroorzaken. Deze apparaten kunt u grofweg in zes groepen indelen:

- Fase-aansnij apparatuur met thyristoren en triac's, bijvoorbeeld lichtdimmers en elektronische motor- en verwarmingsregelingen.
- Gelijkrichters voor grote vermogens, waarbij de uitgangsspanning geregeld wordt met behulp van thyristoren.
- Hoogfrequent generatoren met snelle vermogenstransistoren, zoals toegepast in ultrasone generatoren in de industrie.
- Gestabiliseerde voedingen die werken volgens het principe van de geschakelde regeling.
- Schakelingen die motoren bevatten, die op willekeurige momenten worden in- en uitgeschakeld.
- Schakelingen die zonder trafo uit het 230 V net worden gevoed, zoals dimbare spaar- en LED-lampen.

De elektronica die in dergelijke schakelingen en apparaten wordt gebruikt, veroorzaakt stoorspanningen op het wisselspanningsnet. Deze stoorspanningen uiten zich onder de vorm van hoogfrequente signalen, die frequenties hebben tot 20 MHz. De amplitude van deze signalen ligt soms een factor 1.000 hoger dan de officieel toegelaten waarden. Voornamelijk het frequentiegebied tussen 150 kHz en 20 MHz is zeer kritisch. Netleidingen gedragen zich voor deze frequenties als ideale draadantennes, die een groot elektromagnetisch veld met de genoemde frequenties in de ruimte uitstralen. Deze elektromagnetische stralingen kunnen door andere signaalvoerende geleiders worden opgepikt en kunnen zich superponeren op de signalen die over deze aders worden getransporteerd. Het gevolg kan een ongewenste signaalmenging zijn, waardoor som- en verschilfrequenties ontstaan die de goede werking van de apparatuur kunnen verstoren.

Maatregelen ter ontstoring

In principe kunt u twee zeer verschillende wegen bewandelen om de invloed van de hoogfrequente stoorsignalen te elimineren.

- Het ligt voor de hand dat u in eerste instantie het probleem bij de bron moet aanpakken, hetgeen er op neer komt dat u bij iedere potentiële storingsbron een ontstoringsnetwerk

moet aanbrengen. Dit noemt men de uitgangsfilters, omdat zij verhinderen dat stoorsignalen uit apparaten komen en het net infiltreren.

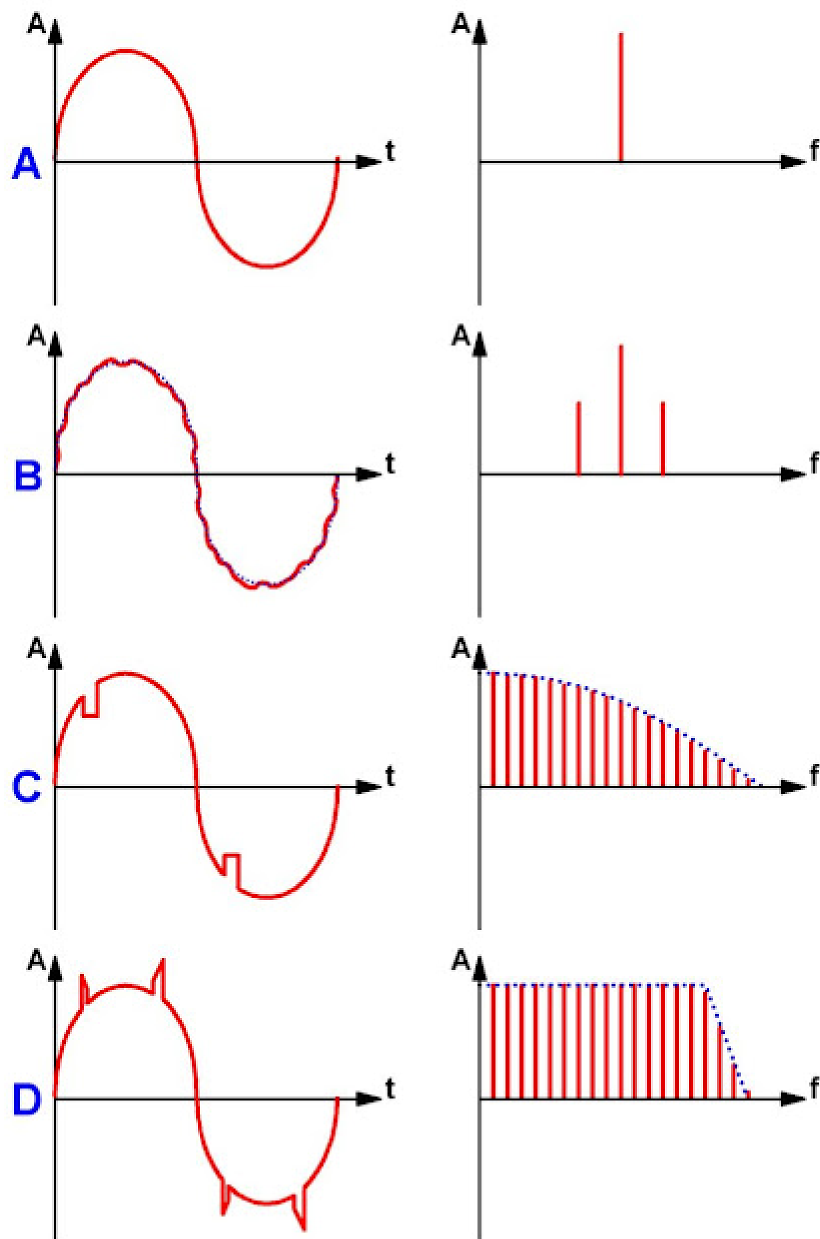
- De tweede weg is het verhinderen dat stoorsignalen doordringen tot storingsgevoelige apparatuur. Dat kan door het aanbrengen van filters in de netaansluitingen van dergelijke apparaten. Het zal wel duidelijk zijn dat men dergelijke filters ingangsfilters noemt.

Het ontstaan van de stoorsignalen

De hoogfrequente stoorsignalen ontstaan als gevolg van een universele fysische wet die geldt voor alle golfverschijnselen. Deze wet is onderzocht door Fourier en volledig wiskundig beschreven. De Fourier-wet zegt dat ieder periodiek golfverschijnsel is opgebouwd uit een aantal sinusoidaal of cosinusoidaal verlopende golven, waarvan de frequenties gelijk zijn aan een veelvoud van de basisfrequentie van het periodiek golfverschijnsel. Deze golven worden 'de harmonischen van het basissignaal' genoemd. De onderlinge samenhang van deze golven wordt het 'frequentiespectrum van het basissignaal' genoemd.

Een paar voorbeelden

De theorie van Fourier wordt toegelicht aan de hand van een aantal voorbeelden, voorgesteld in onderstaande figuur. De linker grafieken tonen een aantal periodieke golfverschijnselen. De grafieken geven het verloop van de amplitude A in functie van de tijd t. De rechter grafieken geven het frequentiespectrum van de signalen. In dit spectrum worden de frequenties, waaruit het signaal bestaat, voorgesteld door verticale lijnen op de horizontaal verlopende frequentie-as f. De hoogte van de lijnen geeft de amplitude A weer van de verschillende frequenties.



Vier voorbeelden van de spectrale samenstelling van periodieke signalen.
(© 2017 Jos Verstraten)

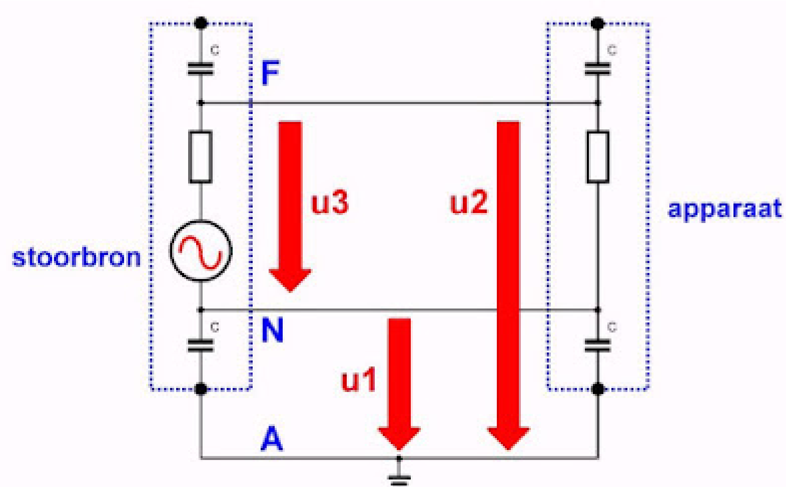
- In voorbeeld A is een zuiver sinusoidaal signaal getekend. Het frequentiespectrum bestaat uit slechts één lijn. De ligging van deze lijn op de horizontale as komt uiteraard overeen met de frequentie van het sinusoidale signaal.
- In voorbeeld B is een sinusoidaal signaal getekend, dat verontreinigd is met een ander sinusoidaal signaaltje met een veel hogere frequentie. Dit signaal uit zich als een klein rimpeltje op het oppervlak van de sinus. Uit het frequentiespectrum blijkt dat dit signaal uit drie spectrale lijnen bestaat, waarvan twee aan weerszijden van de basislijn liggen en een vrij hoge amplitude hebben.
- In voorbeeld C is een sinussignaal getekend, verontreinigd met twee scherpe dip's per periode. Een dergelijke storing zou bijvoorbeeld op de netspanning kunnen ontstaan als u een zware belasting in iedere halve periode inschakelt door middel van een triac. Door de grote inschakelstroom zal de netspanning even 'in elkaar storten', waardoor deze typische dip's ontstaan. De Fourier-analyse vertoont nu een heleboel lijnen, waarvan er maar een handjevol zijn getekend. In realiteit liggen de spectrale lijnen zo dicht bij elkaar dat zij schijnbaar een aaneengesloten gebied vormen. Het belangrijkste dat u uit de Fourier-analyse kunt afleiden is dat de amplitude van de harmonischen langzaam afneemt naarmate hun frequentie stijgt.
- In voorbeeld D is een sinus getekend, die verontreinigd is met smalle pieksignalen. Een dergelijke storing zou bijvoorbeeld kunnen ontstaan als u een inductieve belasting zoals

een motor, periodiek in- en uitschakelt. De grote zelfinductie van de wikkelingen van de motor wekt dan iedere keer een vrij hoge tegenspanning op, die op de netspanning terecht komt. Ook nu blijkt uit de harmonische analyse dat dit signaal heel veel harmonischen bevat, die tot ver in het MHz-gebied een grote amplitude handhaven.

Soorten stoorspanningen
Hoogfrequente stoorspanningen kunt u onder twee vormen op het wisselspanningsnet terugvinden:

- Als symmetrische stoorspanningen.
- Als asymmetrische stoorspanningen.

Het verschil tussen deze twee stoorbronnen wordt toegelicht aan de hand van onderstaande figuur. Het wisselspanningsnet kan en mag nooit los gezien worden van de aarde. Deze maakt immers bij de meeste apparatuur een belangrijk onderdeel uit van het primaire circuit. Zoals uit de tekening blijkt, is de aarde rechtstreeks verbonden met de metalen behuizing van de geaarde apparatuur. De schakeling is echter opgesloten in deze behuizing. Het gevolg hiervan is dat u tussen alle punten van de schakeling en de behuizing een bepaalde capaciteit C kunt meten. Tussen iedere twee geleidende punten kunt u immers per definitie een condensator vermoeden!



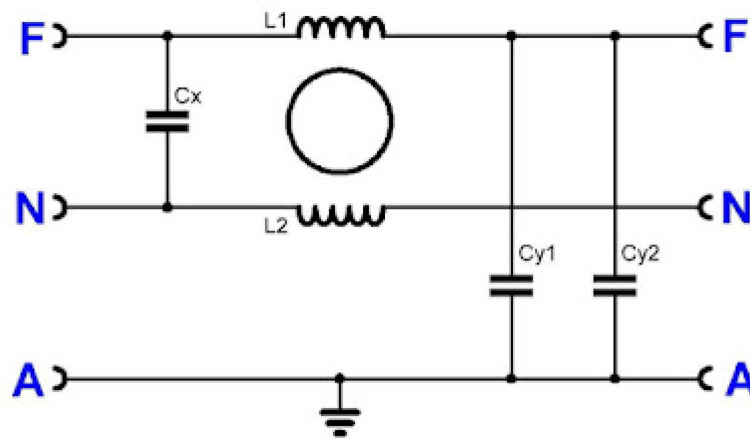
Het verschil tussen symmetrische en asymmetrische stoorspanningen.
(© 2017 Jos Verstraten)

Deze parasitaire condensatoren vormen belangrijke onderdelen bij het doorkoppelen van stoorsignalen van de storingsbron naar apparaat. De parasitaire condensatoren zorgen er immers voor dat er een rechtstreekse verbinding ontstaat tussen enerzijds de storingsbron en anderzijds het storingsgevoelige apparaat. Dat die rechtstreekse verbinding twee seriecondensatoren bevat maakt voor de hoogfrequente stoorsignalen niet erg veel uit. Voor deze hoge frequenties hebben deze condensatoren immers een vrij lage impedantie. Symmetrische stoorsignalen zijn aanwezig tussen de fase en de nul van het wisselspanningsnet. Asymmetrische stoorsignalen zijn aanwezig tussen de fase en de aarde en tussen de nul en de aarde. In de Engelstalige vakliteratuur noemt men de symmetrische storingen de *'differential mode'* en de asymmetrische storingen de *'common mode'*.

Aardgeleiders
Een tweede belangrijke factor is dat een lange aardgeleider, die aan één kant met de aarde is verbonden, als een ideale antenne kan fungeren voor er doorheen vloeiende hoogfrequente stoorstromen. Bij het ontstoren van apparatuur moet u dus niet alleen de symmetrische stoorspanningen tussen fase en nul dempen, maar moet u aandacht besteden aan het verkleinen van de asymmetrische signalen.

Basisschakeling van een ontstoorfilter

Aan de hand van de tot nu toe bekende algemene gegevens kunt u gemakkelijk het algemene schema van een universeel ontstoorfilter samenstellen. Dit ideale schema is getekend in onderstaande figuur. De linker kant van het filter gaat naar de stoorbron, de rechter wordt aangesloten op het wisselspanningsnet en gaat dus via dat net naar het storingsgevoelige apparaat. De tussen de fase en de nul aangesloten condensator C_x dempt symmetrische stoorsignalen. Tussen de fase en de aarde staat een LC-filter L1/C_{y1} dat geschakeld is als laagdoorlaatfilter.

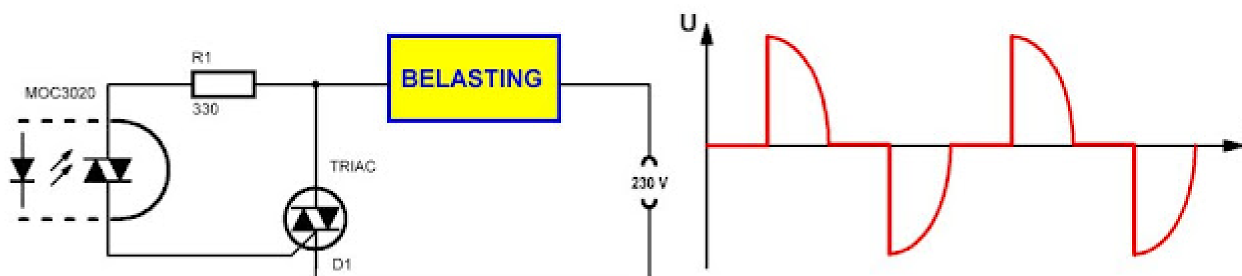


Het algemene en ideale schema van een ontstoorfilter. (© 2017 Jos Verstraten)

Storingen door triac's en thyristoren

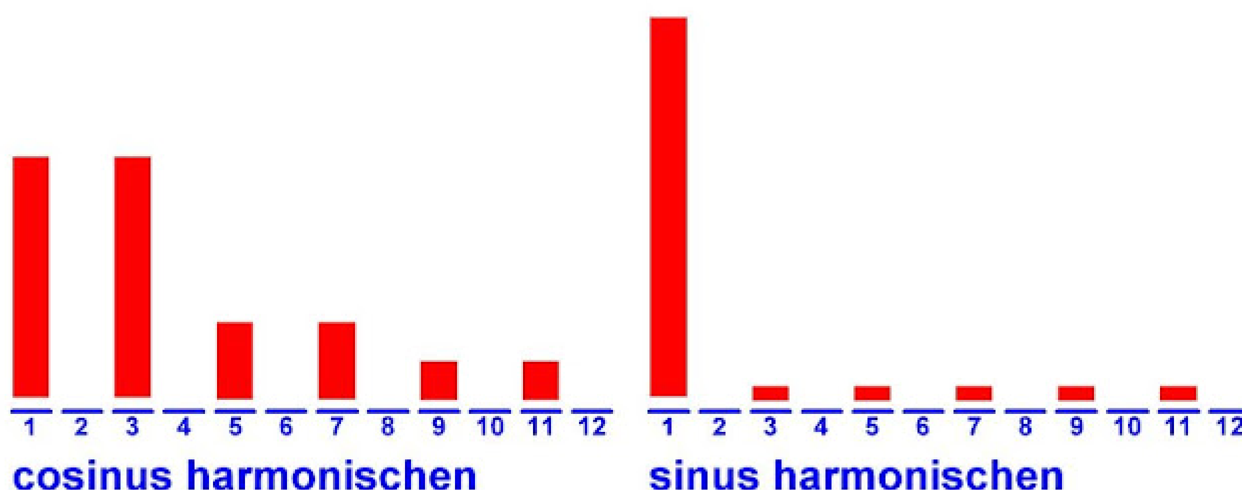
Inleiding
De meeste storingen in de doe-het-zelf sfeer ontstaan door apparatuur, waarbij u tussen de netspanning en de belasting een thyristor of een triac hebt opgenomen. U moet denken aan lichtdimmers en ventilatormotoren die elektronisch geregeld worden. Het stoorspectrum heeft bij dergelijke schakelingen een typisch verloop, veroorzaakt door het principe van de fase-aansnij besturing waarmee deze apparatuur werkt. Het principe van fase-aansnij besturing is getekend in onderstaande figuur. De fundamentele eigenschap van een dergelijke schakeling is dat de belasting en de triac (of thyristor) in serie zijn geschakeld tussen de twee aansluitingen van het wisselspanningsnet. De thyristor of triac wordt ontstoken door een kleine stroom uit het net in de gate van het onderdeel te sturen, via de belasting en het besturingselement. Op dat moment gaat de thyristor of de triac geleiden en valt de spanning over het onderdeel terug naar ongeveer 0,7 V. Het moment waarop de elektronische schakelaar in geleiding wordt gestuurd, bepaalt het vermogen dat in de belasting verbruikt wordt. Als de triac of thyristor niet geleidt, staat er geen spanning over de belasting. Als de elektronische schakelaar wél gaat geleiden, staat de volledige netspanning over de belasting. In dat laatste geval zal de belasting uiteraard stroom trekken uit het net. Deze niet-sinusoidale stroom die door de triac, de belasting en het wisselspanningsnet vloeit, is de oorzaak van het ontstaan van de stoorsignalen.

De geleidingshoek
Het verloop van de spanning over de belasting is rechts getekend. In het getekende voorbeeld geleidt de triac gedurende precies de helft van een volledige halve periode. Men zegt dat de geleidingshoek gelijk is aan 90°. Uiteraard kunt u deze geleidingshoek variëren tussen 0° en 180°. Door deze variatie kunt u het in de verbruiker opgewekte vermogen instellen tussen nul en de maximale waarde.



De werking van een thyristor- of triac-schakeling. (© 2017 Jos Verstraten)

Het frequentiespectrum
Het getekende verloop van de stroom door de belasting kan, alweer met behulp van de formules van Fourier, ontleed worden in haar samenstellende componenten. Dan ontstaat het plaatje van onderstaande figuur. De stroom bestaat in eerste instantie uit twee componenten, in de grafieken voorgesteld met 1. Deze twee componenten hebben dezelfde frequentie als de netspanning, dus 50 Hz, maar zijn ten opzichte van elkaar 90° in fase verschoven. Vandaar dat men de ene component de sinus-component (in fase met de netspanning) en de andere de cosinus-component (90° in fase verschoven ten opzichte van de netspanning) noemt. Als u zich nog iets kunt herinneren van uw wiskundelessen, dan zult u onmiddellijk begrijpen waarom deze componenten 'sinus' en 'cosinus' worden genoemd! Daarnaast is de stroom samengesteld uit een aantal componenten met veelvouden van de netfrequentie, die in de grafieken respectievelijk 3, 5, 7, etc. worden genoemd. Het zal duidelijk zijn dat de 3-componenten een frequentie hebben die gelijk is aan drie maal deze van de netspanning, dus 150 Hz. De sinus-componenten van deze hogere harmonischen zijn vrij zwak, maar de amplitude van de cosinus-stromen is vrij groot. In de figuur zijn alleen de amplitudes van de stromen tot en met de elfde harmonische getekend. Dat wil niet zeggen dat de stroom geen hogere harmonischen bevat! Men kan berekenen (en trouwens ook meten) dat er stromen met frequenties tot ver in het MHz-bereik door iedere fase-aansnij schakeling vloeien!



De Fourier-analyse van de stroom door de belasting. (© 2017 Jos Verstraten)

De invloed van de openingshoek
Het zal wel duidelijk zijn dat de openingshoek van de fase-aansnij besturing mede bepalend is voor de grootte van de harmonische stoorsignalen. Bij openingshoeken van 0° en 180° (volledige sperring en volledige geleiding van de triac) zal er uiteraard geen sprake zijn van harmonische stromen. In het eerste geval vloeit er helemaal geen stroom, in het tweede geval verloopt de stroom zuiver sinusvormig. De vraag die beantwoord moet worden is hoe de amplitudes van de harmonischen beïnvloed worden door de openingshoek van de schakeling. Uit onderzoek blijkt dat:

- De harmonischen zijn het sterkst voor openingshoeken tussen 40° en 140°.
- Het amplitudeverloop is symmetrisch ten opzichte van een openingshoek van 90°.

- Voor kleine en grote openingshoeken hebben alle harmonischen ongeveer dezelfde waarde.
- Naarmate het harmonische getal stijgt wordt de amplitude van de harmonischen minder afhankelijk van de openingshoek.

Besluit
Uit deze gegevens blijkt heel duidelijk dat voornamelijk de hogere harmonischen, die het meeste storing veroorzaken, heel goed weggefilterd kunnen worden met een passief laagdoorlaatfilter. De grootte van deze harmonischen is immers vrij constant voor een breed gebied van de openingshoek, zodat het vrij gemakkelijk is te berekenen in hoeverre een bepaald filter deze harmonischen onderdrukt.

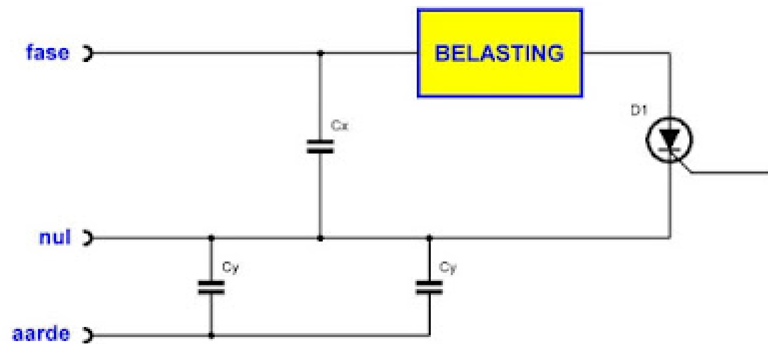
Ontstoorfilters aan de uitgang

Inleiding
De samenstelling van een ontstoorfilter dat als uitgangsfilter wordt toegepast is van een aantal zaken afhankelijk:

- Op de eerste plaats uiteraard van de verwachte (en eventueel te berekenen) amplitude van de stoorsignalen.
- Op de tweede plaats van de mate waarin u de stoorsignalen wilt onderdrukken.
- Op de derde plaats van het soort belasting, zuiver resistieve belastingen zoals gloeilampen vereisen andere filters dan zeer inductieve belastingen zoals motoren.

De amplitude van de stoorsignalen is in grote mate afhankelijk van het vermogen dat door de fase-aansnij besturing wordt geschakeld. Een lichtdimmertje dat een halogeenlamp van 100 W regelt zal minder stoorsignalen genereren dan een lichtregeltafel, waarmee men 2.000 W volgspot's in een disco of theater aanstuurt.
De aard van de belasting speelt een belangrijke rol bij de samenstelling van het filter. Motoren hebben spoelen en deze spoelen kunnen in sommige gevallen worden ingeschakeld als deel van het ontstoorfilter. Zeker als u te maken hebt met grote vermogens kan deze constructie een of zelfs twee zeer dure en grote ontstoorspoelen uitsparen.

Het zuiver capacitieve ontstoorfilter
Hebt u te maken met kleine, zuiver resistieve belastingen, dan kunt u het ontstoorfilter volgens onderstaande figuur samenstellen met drie condensatoren. De condensator C_x dempt de symmetrische stoorsignalen, de twee condensatoren C_y zorgen voor de reductie van de asymmetrische storingen. De waarde van de condensatoren C_y kan niet tot in het oneindige opgevoerd worden. Deze onderdelen zijn geschakeld tussen de fase en de aarde en tussen de nul en de aarde. Tussen de fase en de aarde staat de volledige netspanning. Door de condensator gaat dus een bepaalde stroom vloeien en als deze stroom te groot wordt zal de aardlekschakelaar uitschakelen. In de praktijk kunt u niet hoger gaan dan 2,2 nF. Uit overwegingen van symmetrie moet u ook de tweede C_y dezelfde waarde geven.
Ook de waarde van C_x is aan een bepaald maximum gebonden. Zou u deze condensator te groot maken, dan zal er bij het inschakelen van de netspanning een zeer grote piekstroom door dit onderdeel gaan vloeien. Het gevolg kan zijn dat gevoelige automatische zekeringen afslaan. Maar er is nog een tweede gevaar! De condensator is ingebouwd in het te ontstoren apparaat. Dit apparaat zal in de meeste gevallen met een netsnoer en een netstekker naar een wandcontactdoos gaan. Trekt u de stekker uit de doos, dan staat de geladen condensator C_x tussen de twee pennen van de netstekker. Het per ongeluk aanraken van deze pennen kan dan een behoorlijk grote schok tot gevolg hebben! Vandaar dat men in de praktijk de waarde van de condensator C_x begrenst op 220 nF.



Een zuiver capacitief ontstoorfilter kan gebruikt worden bij kleine, zuiver resistieve belastingen. (© 2017 Jos Verstraten)

Spoelen noodzakelijk
Voor het ontstoren van grote resistieve belastingen en inductieve belastingen kunt u niet meer gebruik maken van het zuiver capacitieve filter. U moet dan in ieder geval ontstoorspoelen gaan gebruiken. Er bestaan verschillende soorten ontstoorspoelen, die ieder een specifiek toepassingsterrein hebben:

- Verzadigde ontstoorspoelen.
- Stroomgecompenseerde ontstoorspoelen.
- Staafkernspoelen.
- Aardingsspoelen.

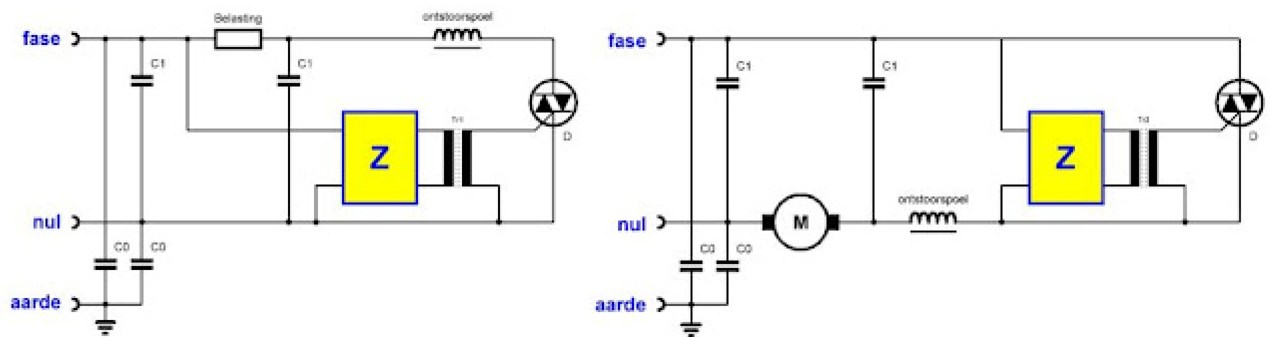
In de volgende paragrafen zal het toepassingsgebied van deze spoelen worden toegelicht en zullen praktische ontstoorschakelingen worden gepresenteerd. De praktische schakelingen zijn voorzien van ontstoorspoelen van het fabrikaat Schaffner. Dit is een van de grootste en bekendste fabrikanten van ontstoornetwerken en de spoelen van Schaffner zijn goed verkrijgbaar bij de betere elektronica postorderbedrijven.

Verzadigde ontstoorspoelen

Eigenschappen
Verzadigde ontstoorspoelen zijn gewikkeld op een ijzeren kern. Deze onderdelen hebben bij het inschakelen (stroom gelijk aan nul) een grote inductie. Als echter de stroom gestegen is tot de normale waarde worden de kernen van de spoelen in verzadiging gestuurd, waardoor de inductie klein wordt. Dit soort spoelen wordt steeds in serie opgenomen met de thyristor of de triac. Het gevolg is dat de hoge aanvangsinductie zich verzet tegen het plotseling opkomen van de stroom. De stroom zal er dus iets langer over doen om van nul te stijgen tot de maximale waarde, waardoor het aandeel van de zeer hoge harmonische componenten sterk gereduceerd wordt. Het zal duidelijk zijn dat dit feit alleen al een sterke reductie van de stoorsignalen tot gevolg heeft. Maar uiteraard gebruikt u deze spoelen niet alleen, maar in combinatie met condensatoren. Het daardoor gevormde LC-netwerk werkt als laagdoorlaatfilter, waardoor de restanten van de HF-componenten nog meer verzwakt worden.

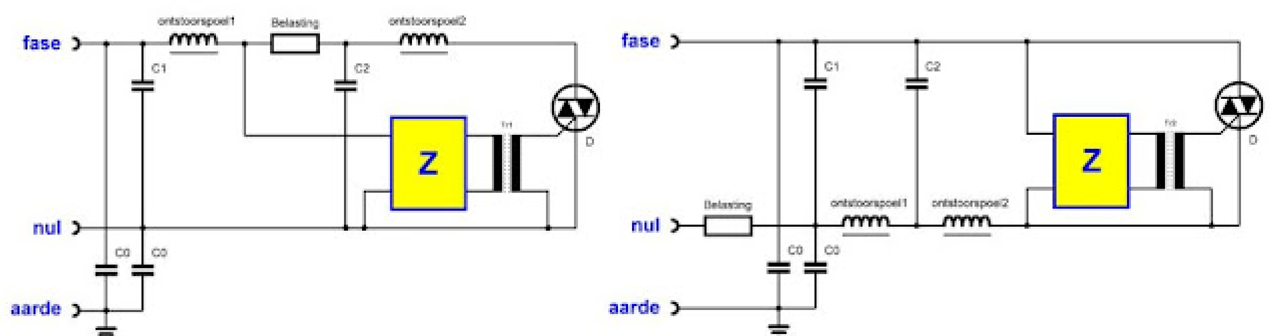
Praktische schakelingen
In onderstaande figuur links is een voorbeeld getekend van een ontstoorschakeling met een verzadigde ontstoorspoel en de bijbehorende condensatoren. Deze schakeling is geschikt voor het ontstoren van resistieve belastingen, zoals theaterspot's of verwarmingselementen. Het blokje Z stelt het ontsteekcircuit van de triac voor. De waarde van de condensatoren C0 bedraagt 2,2 nF. Dit geldt overigens voor alle verdere praktische schema's. De waarde van de condensatoren C1 is afhankelijk van het soort spoel dat gebruikt wordt. Het rechter schema kunt u gebruiken bij het ontstoren van inductieve belastingen zoals motoren. De inductie van de motorspoel wordt nu gebruikt als tweede ontstoorspoel, waardoor twee LC-netwerken

opgebouwd worden.



Praktische schakelingen met verzadigde ontstoorspoelen. (© 2017 Jos Verstraten)

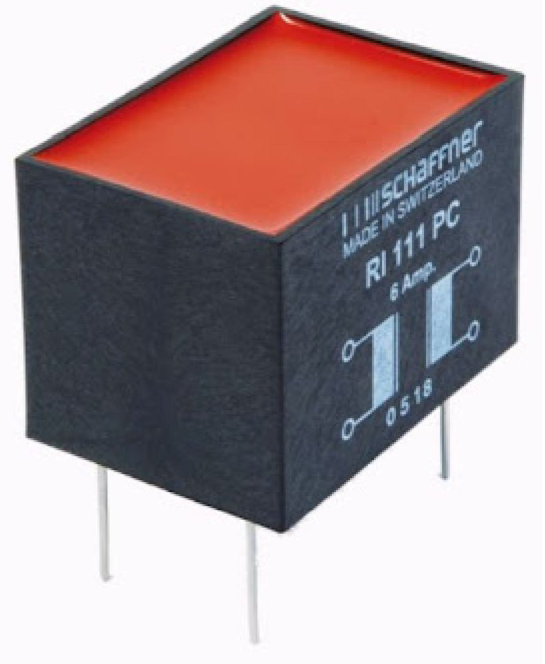
Dubbele verzadigde ontstoorspoelen
Naast de enkelvoudige verzadigde ontstoorspoelen levert Schaffner ook dubbele spoelen met identieke karakteristieken. Deze kunt u gebruiken in omgevingen waar zeer hoge eisen worden gesteld aan de ontstoring van schakelingen. Met twee spoelen en vier condensatoren kunt u, volgens onderstaand schema's, ontstoorfilters samenstellen die meer dan 70 dB verzwakken bij 150 kHz.



Praktische schakelingen met dubbele verzadigde ontstoorspoelen.
(© 2017 Jos Verstraten)

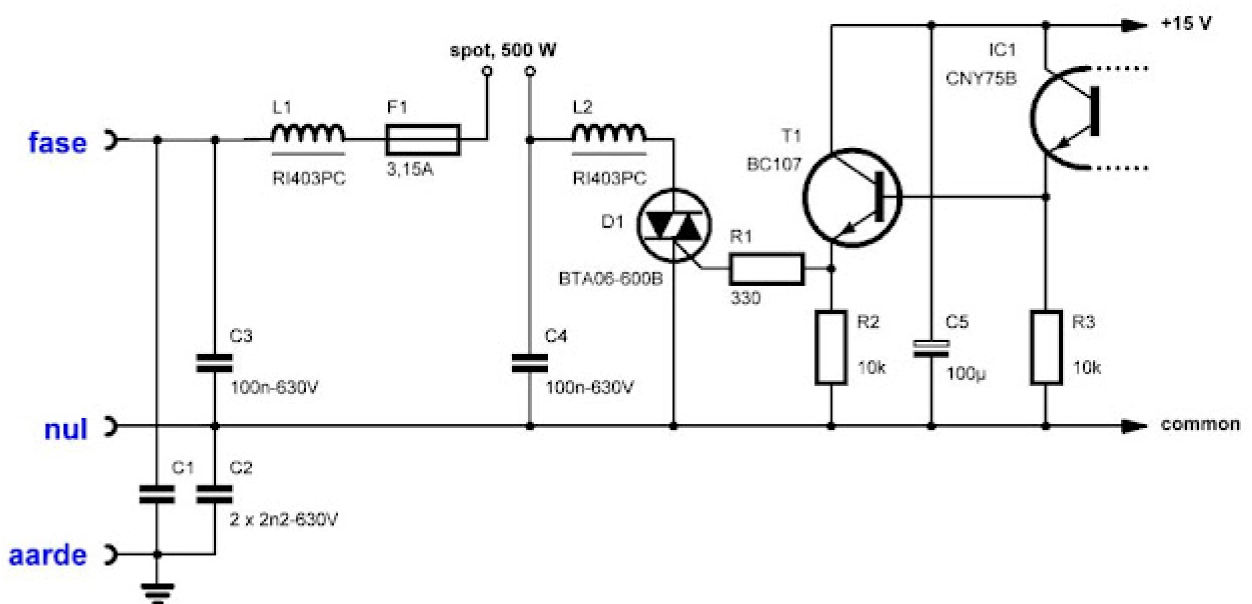
Leverbare typen
In onderstaande tabel zijn de verzadigde ontstoorspoelen van Schaffner samengevat, met hun maximale stroom en hun inwendige weerstand. De typen met het achtervoegsel PC zijn printuitvoeringen, die u rechtstreeks in een print kunt solderen.

Choke type	Nominal current A@40°C	Circuit symbol	R† mΩ/path	Weight approx. g
RI 109 PC	2		280	65
RI 110 PC	3		148	120
RI 111 PC	6		42	170
RI 13	25		10	1320
RI 207 PC	0.8		1325	50
RI 209 PC	2		275	40
RI 229 PC	2		265	30
RI 230 PC	3		160	50
RI 210 PC	3		160	65
RI 231 PC	5		62	80
RI 211 PC	6		43	70
RI 221 PC	8		34	175
RI 401 PC	1.5		620	15
RI 403 PC	3		105	30
RI 406 PC	6		53	55
RI 410 PC	10		28	95
RI 222	15		21	330
RI 415	15		8	205
RI 425	25		3.5	325



De verzadigde ontstoorspoelen van Schaffner. (© Schaffner)

Een praktisch schema
Tot slot van deze paragraaf over de verzadigde ontstoorspoelen geeft onderstaande figuur een voorbeeld van een schakeling die zich in de praktijk heeft bewezen. Deze schakeling werd ontworpen voor het aansturen van 500 W theaterspot's. Interessant aan dit schema is de manier waarop de gate van de triac wordt aangestuurd. Deze krijgt zijn gatestroom via een emittervolger uit de fotogevoelige transistor in een optische koppelaar IC1. ***De +15 V, waarmee deze ontsteekschakeling gevoed wordt, moet volledig gescheiden zijn van de voedingsspanningen van het primaire circuit!*** Met primaire circuit wordt hier de LED uit de optische koppelaar bedoeld en uiteraard alle schakelingen die de stuurpulsen voor deze LED genereren. Deze +15 V moet dus opgewekt worden uit een kleine, afzonderlijke voedingstrafo, die alleen gebruikt wordt voor het voeden van de foto-transistor en de emittervolger van deze ene trap of, in samengestelde systemen, van alle secundaire 230 V_{ac} trappen.



Een praktische toepassing van verzadigde ontstoorspoelen in een lichtdimmer.
(© 2017 Jos Verstraten)

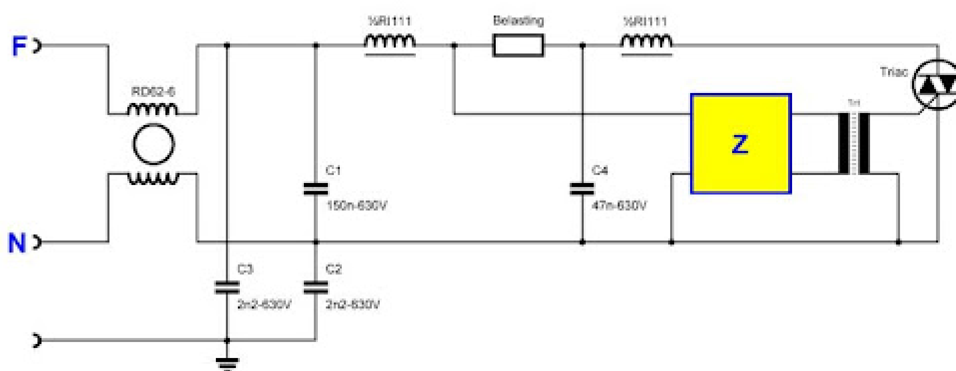
Stroomgecompenseerde spoelen

Werking
Stroomgecompenseerde ontstoorspoelen bestaan uit een ringkern, waarop twee identieke wikkelingen zijn aangebracht. Zij worden gebruikt voor het onderdrukken van de asymmetrische stoorsignalen die tussen de fase en de aarde en tussen de nul en de aarde ontstaan. Deze spoelen worden steeds opgenomen tussen de fase en de nul van het voedingsnet en afgesloten met twee kleine condensatoren naar de massa. De twee spoelen zijn zo op de ringkern gewikkeld, dat de magnetische velden die worden opgewekt door de 50 Hz netspanning elkaar compenseren. De spoel heeft dus geen functie voor de netspanning. De volle inductie werkt slechts in op de asymmetrische stoorspanningen, die tussen de fase en de aarde en tussen de nul en de aarde bestaan.

Toepassingen
Stroomgecompenseerde ontstoorspoelen worden gebruikt:

- In schakelingen met fase-aansnij besturingen, waarbij de ontstoorcircuits met verzadigde ontstoorspoelen niet voldoende effect hebben.
- Bij het ontstoren van sterk verontreinigende schakelingen, zoals ultrasone generatoren en zware geschakelde voedingen.

Uitvoeringsvorm en praktisch schema
In onderstaande figuur is een voorbeeld gegeven van een schakeling, waarin stroomgecompenseerde ontstoorspoelen worden gebruikt in combinatie met de reeds beschreven ontstoorschakelingen.





Een voorbeeld van een stroomgecompenseerde spoel en een praktisch schema.
(© 2017 Jos Verstraten)

Leverbare typen
Schaffner levert tientallen stroomgecompenseerde ontstoorspoelen in de RN- en RD-series. Deze ontstoorspoelen kunt u gebruiken tot stromen van 64 A. Het gaat te ver om de gegeven van deze onderdelen in dit artikel te vermelden. Wij verwijzen u naar de referenties, onderaan dit artikel, waar links naar de datasheets van de fabrikant zijn opgenomen.

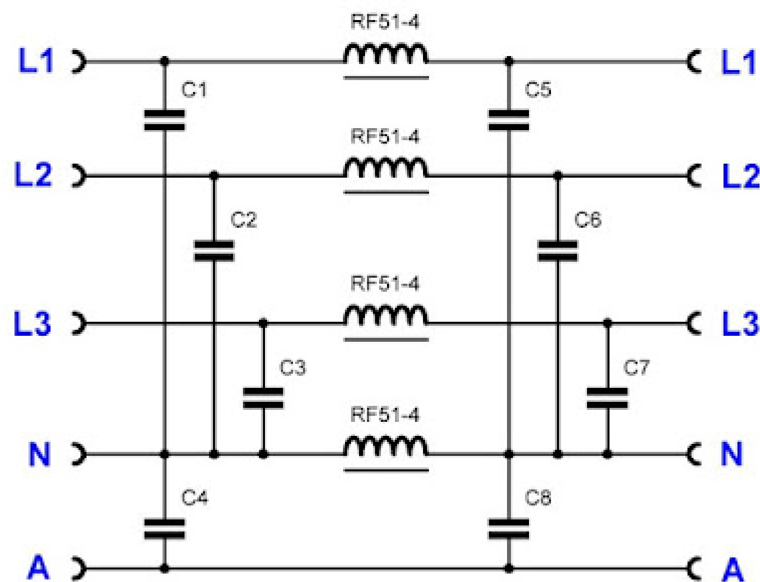
Staafkernspoelen

Werking
Staafkernspoelen, de naam zegt het reeds, bestaan uit één spoel die gewikkeld is op een staafvormige kern. Staafkernspoelen worden gekarakteriseerd door een constante inductie. De kernen zijn dus zo ontworpen dat, zelfs bij de maximale belasting, geen verzadiging van het kernmateriaal optreedt.

Toepassingen
Deze spoelen worden voornamelijk gebruikt:

- In zware industriële omgevingen voor het ontstoren van drie-fase verbruikers zoals zware motoren.
- In schakelingen, waarbij de storingen voornamelijk ontstaan door symmetrische spanningen.

Voorbeeldschakeling
In onderstaande figuur wordt als voorbeeld van het gebruik van de staafkernspoelen een ontstoorschakeling getekend, die u kunt toepassen voor het effectief ontstoren van een drie-fase belasting met nulleider. De spoelen zijn opgenomen in serie met de drie fase-aders en in serie met de gemeenschappelijke nul. Iedere spoel wordt afgesloten met een condensator naar de gemeenschappelijke nul, terwijl aan de ingang ook nog eens condensatoren naar de aarde zijn geschakeld.



Een standaard schakeling voor het ontstoren van een drie-fase belasting met nulleider.
(© 2017 Jos Verstraten)

Beschikbare staafkernspoelen
Schaffner heeft staafkernspoelen in het programma, waarmee alle denkbare ontstoorklussen zijn uit te voeren. In onderstaande tabel ziet u dat er spoelen leverbaar zijn tot een maximale stroom van 150 A! Deze spoelen zitten ingegoten in een rechthoekige behuizing met slechts twee aansluitingen, zodat het niet noodzakelijk is aansluitgegevens te vermelden.

Choke type	Nominal current A@40°C	Inductance L* mH	Circuit symbol	R† mΩ	Weight approx. g
RF 51-4	4	2.4 (2)		310	250
RF 61-16	16	1.2 (1.2)		40	1300
RF 71-35	35	0.58 (0.35)		12	2720
RF 71-75	75	0.1 (0.06)		2	2800
RF 81-75	75	0.42 (0.3)		3.7	9060
RF 81-150	150	0.1 (0.08)		0.95	9400
RF 101-150	150	0.28 (0.22)		2.25	22000
RF 201-0.2/02	0.2	92 (90)		34000	30
RF 201-0.5/02	0.5	18.5 (18)		6300	32
RF 201-1/02	1	4.6 (4.4)		1900	35
RF 201-2/02	2	1.3 (0.84)		500	27
RF 201-0.2/07	0.2	92 (90)		34000	32
RF 201-0.5/07	0.5	18.5 (18)		6300	34
RF 201-1/07	1	4.6 (4.4)		1900	30
RF 201-2/07	2	1.3 (0.84)		520	30
RF 201-6/07	6	0.13 (0.08)		68	29
RF 211-0.5/02	0.5	50 (47)		10200	75
RF 211-1/02	1	13.6 (12.5)		3000	70
RF 211-2/02	2	3.8 (3.3)		820	70
RF 211-4/02	4	0.92 (0.68)		202	74
RF 211-6/02	6	0.39 (0.33)		100	75
RF 211-10/02	10	0.15 (0.1)		42	70
RF 211-0.5/14	0.5	50 (47)		10200	72
RF 211-1/14	1	13.6 (12.5)		3000	71
RF 211-2/14	2	3.8 (3.3)		820	74
RF 211-4/14	4	0.92 (0.68)		202	74
RF 211-6/14	6	0.39 (0.33)		90	76
RF 211-10/14	10	0.15 (0.1)		33	73



Overzicht van de staafkernspoelen van Schaffner. (© 2017 Jos Verstraten)

Aardingsspoelen

Werking

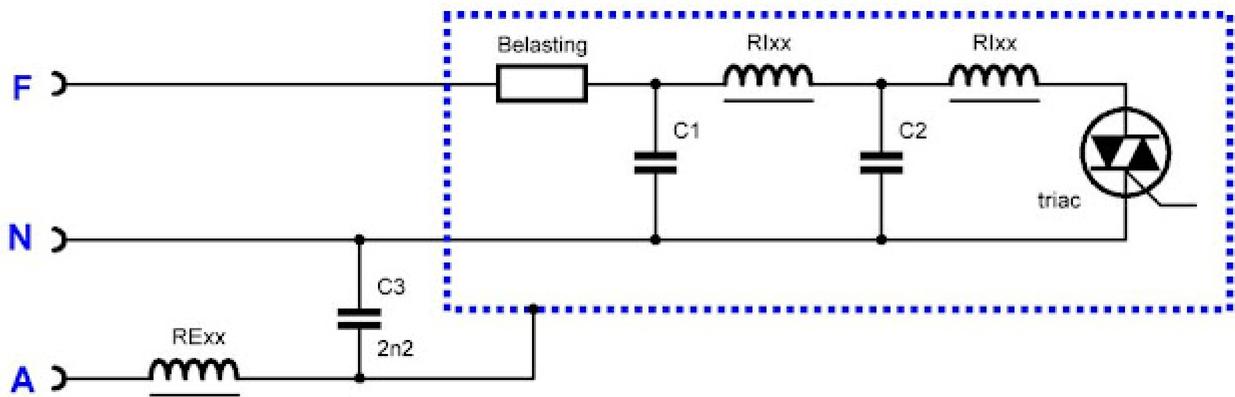
Aardingsspoelen worden rechtstreeks in serie met de aarding van een apparaat opgenomen en zorgen voor extra demping van de asymmetrische stoorstromen die door de aarding zouden kunnen afvloeien. Er bestaan twee typen, namelijk een soort die speciaal is ontworpen voor het onderdrukken van laagfrequente stoorsignalen en een soort die speciaal is ontworpen voor het dempen van hoogfrequente stoorsignalen. Kenmerk van de aardingsspoelen is dat zij gewikkeld moeten worden uit draad met dezelfde diameter als deze die door de geldende normbladen voor aardingen wordt voorgeschreven.

De laagfrequente typen

Deze ontstoorspoelen kunnen worden ingezet bij fase-aansnij schakelingen en worden dan opgenomen tussen de aarding van de behuizing van het apparaat en de aarding van het net. Uiteraard mag de behuizing dan niet meer rechtstreeks aan de aarde liggen! Deze typen worden gekenmerkt door een eigen resonantie frequentie die rond de 300 kHz ligt.

Voorbeeld

Een toepassingsvoorbeeld van dergelijke ontstoorspoelen is getekend in onderstaande figuur. Schaffner levert uiteraard ook dergelijke spoelen. Maar nu worden deze typen niet gekarakteriseerd door een maximale stroom, maar door de oppervlakte van de draad waaruit zij zijn gewikkeld. Op deze manier kunt u steeds een spoel toepassen die dezelfde diameter heeft als de plaatselijk geldende aardingsnormen voorschrijven.



Het toepassen van een aardingsspoel. (© 2017 Jos Verstraten)

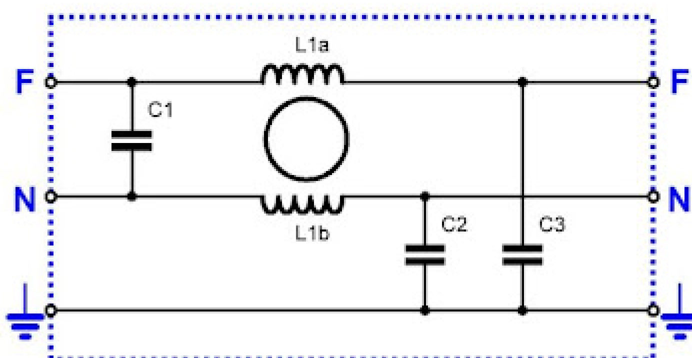
Ingangsfilters

Inleiding

Zoals reeds in de algemene inleiding gesteld, kunt u nadelige verschijnselen van stoorsignalen niet altijd bij de bron uitschakelen. Vandaar dat het zeer belangrijk is storingsgevoelige apparatuur te voorzien van ingangsfilters. Deze filters dempen de via het net binnenkomende stoorsignalen en zorgen ervoor dat het apparaat er zo min mogelijk last van heeft. Ook op het gebied van ingangsfilters bestaan uiteraard diverse configuraties, ieder met bepaalde specifieke dempingseigenschappen. Toch lenen deze filters zich niet voor zelfbouw. U koopt deze kant en klaar, ingebouwd in een speciale modulaire behuizing of zelfs in een netaansluiting. In het laatste geval is vaak de netzekering in het filter geïntegreerd.

Filters in netaansluitingen

Schaffner levert ingangsfilters voor apparatuur die geaard is, maar ook voor apparatuur die geen aardaansluiting heeft. Daarnaast zijn typen leverbaar met soldeeraansluitingen, maar ook met faston-stekkers. Het standaard schema van een dergelijk netfilter mét aarding is getekend in onderstaande figuur. Het filter bestaat uit een stroomgecompenseerde ontstoorspoel en de standaard condensatoren die bij een dergelijke spoel horen.





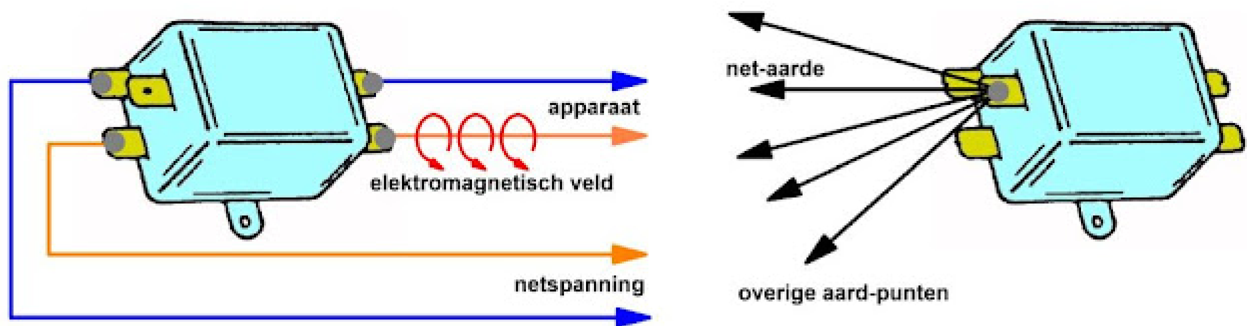
Het schema van een ingangsfilter en een voorbeeld van een dergelijk filter.
(© 2017 Jos Verstraten)

Leverbare typen

Dergelijke filters worden door Schaffner aangeboden onder de reeks-codering FN322 voor filters met aarding en FN302 voor filters zonder aarding. Bij de referenties is een link opgenomen naar een overzicht van alle leverbare ingangsfilters.

Laatste opmerkingen

Montage belangrijk
In wezen komt het goed ontstoren van apparatuur neer op het selecteren van de juiste spoel(en) en condensatoren. Maar toch moet u met bepaalde zaken terdege rekening houden. Zo zal het logisch zijn dat een filter alleen goed werkt als er een zo goed mogelijke scheiding wordt aangebracht tussen de in- en uitgangsbedrading. Zitten deze te dicht bij elkaar, dan zullen de hoogfrequente stoorspanningen via de parasitaire capaciteiten tussen de draden toch nog van de in- naar de uitgang kunnen doordringen, hetgeen nu nét niet de bedoeling is. Bovendien kan het elektromagnetische veld rond de gestoorde draden in de overige draden kleine spanningen induceren. Deze ongewenste situatie is getekend links in onderstaande in figuur.
Een tweede punt waar u bij de inbouw van filters voor moet zorgen is een goede aarding van het gehele systeem. De vanuit het net komende aardingsdraad wordt rechtstreeks verbonden met het aardingspunt van het filter, tenzij u uiteraard een aardingsspoel in het systeem hebt opgenomen. Van dit centrale aardingspunt wordt de interne aarding stervormig uitgevoerd, zie rechter figuur.



Op een doordachte bedrading komt het aan! (© 2017 Jos Verstraten)

De condensatoren
De condensatoren die u in ontstoorfilters toepast worden blootgesteld aan een hoge wisselspanning en zijn vrij kwetsbaar. Alleen onderdelen van zeer goede kwaliteit mogen worden toegepast! Uit kostenoverwegingen zou u kunnen denken dat hoogspanningscondensatoren van het ceramische type een goede keuze vormen. Dat is echter niet het geval! Deze condensatoren zijn namelijk erg slecht bestand tegen korte spanningspieken en kunnen doorslaan of anderszins defect raken. De enige bruikbare technologie is deze van de zogenoemde *'zelfherstellende gemetaliseerde papiercondensatoren'*. Deze zijn uitstekend in staat om zichzelf, na een kleine doorslag ten gevolge van een spanningspiek, zo goed als volledig te herstellen. Het zal tot slot wel duidelijk zijn dat de doorslagspanning van de toegepaste condensatoren minstens gelijk moet zijn aan 450 V. Geadviseerd wordt zelfs typen toe te passen met een doorslagspanning van 630 V.